

NOW-Workshop „Regenerativer Wasserstoff aus der Elektrolyse“, Juli 2008

**Deutsch-Saudi Arabisches Gemeinschaftsprojekt HYSOLAR
(HYdrogen from SOLAR Energy) 1986 - 1995**

Was haben wir aus der alkalischen Elektrolyseentwicklung gelernt?

Dipl.-Ing. TU Andreas Brinner



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

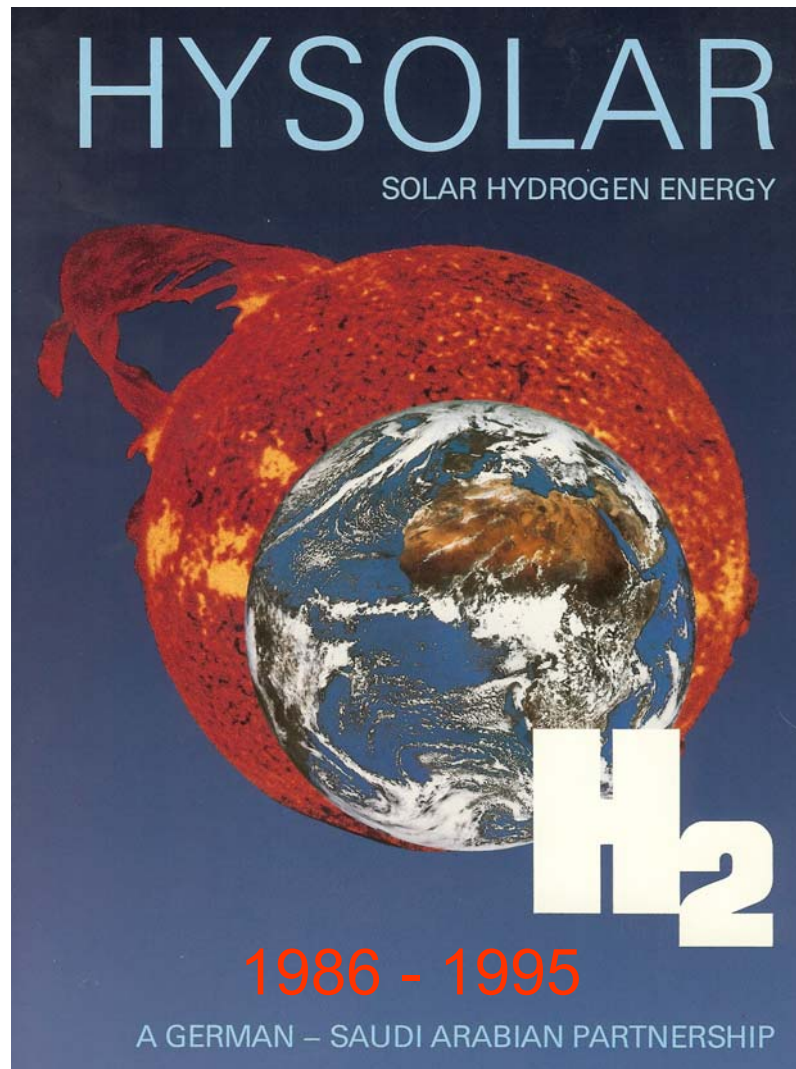
Deutsches Zentrum für Luft- & Raumfahrt e.V. (DLR)
Institut für Fahrzeugkonzepte (DLR-FK)
Pfaffenwaldring 38-40, D-70569 Stuttgart
Tel: 0711 6862 574 / Fax: 0711 6862 1574
E-mail: andreas.brinner@dlr.de / Internet: www.dlr.de/fk



Vortragsinhalt

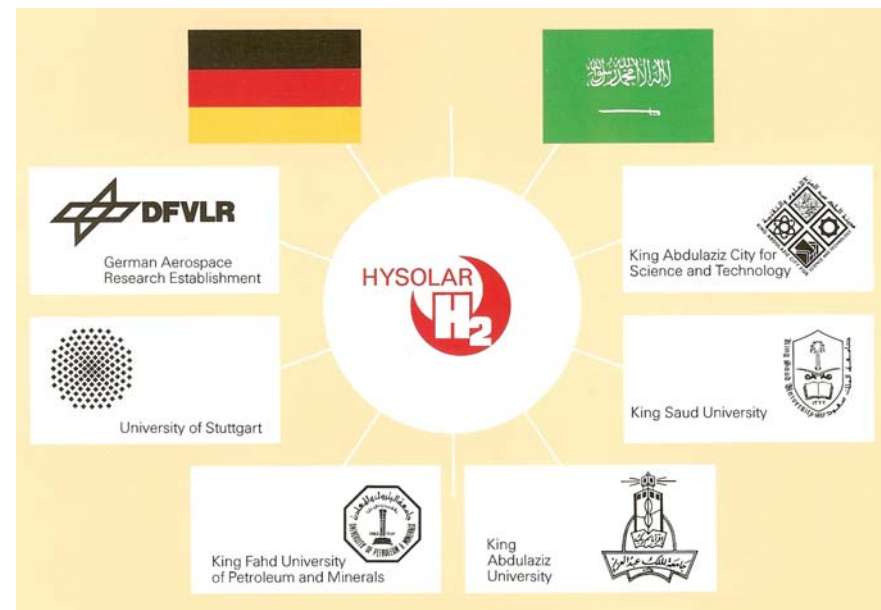
- Kurzvorstellung des HYSOLAR-Projektes
- Test- und Produktions-Demonstrationsanlagen
- Systemvarianten und Elektrolyseblockversionen
- Versuchsbetrieb
- Wichtige Ergebnisse
- Vorschläge für weiteres Vorgehen

Projekt Hysolar: Mission & Entwicklungspartner



برنامج إنتاج الهيدروجين بالطاقة الشمسية
هايسولار

SOLAR HYDROGEN PRODUCTION AND UTILIZATION
A COOPERATION IN RESEARCH, TECHNOLOGY AND EDUCATION



برنامج سعودي ألماني مشترك

Finanzierungspartner & Arbeitsbereiche



Design, installation and operation of a

Task 1

350 kW demonstration plant

Task 2

10 kW test and research facility

Task 3

2 kW test and research facility

Accomplishment of a

Task 4

Fundamental research programme

Task 5

System studies and utilization programme

Task 6

Educational and training programme

With this programme the project HYSOLAR is starting from a safe basis guaranteeing relevance for near term applications and clearing the ground for the long term research on solar hydrogen.

PHOTOVOLTAICS

ELECTROLYSIS

HYDROGEN

UTILIZATION



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner
Institut für Fahrzeugkonzepte

07.07.08



PV-Elektrolyse-Anlagen des Projektes



**350/500kW Solar-Wasserstoff
Herstellungs-Demonstrationsanlage**

Versuchsbetrieb

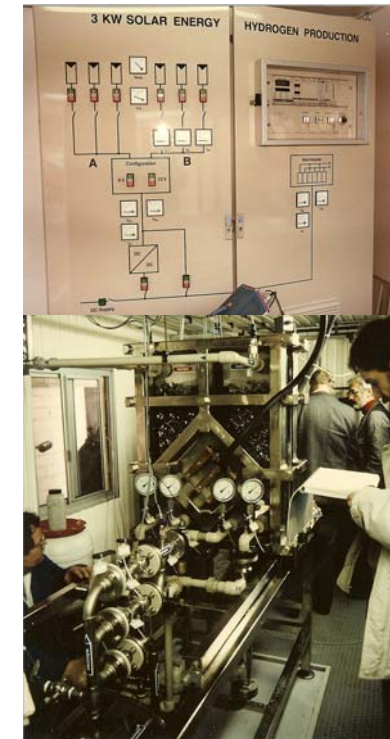
1993 - 2000



**10kW Solar-Wasserstoff
Forschungs- und Versuchsanlage**

Versuchsbetrieb

1987 - 2004



3kW Solar-Wasserstoff

Testanlage

Versuchsbetrieb

1989 - 1995



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner
Institut für Fahrzeugkonzepte

07.07.08

Elektrolyseanlagen des Projektes

$P = 2 - 350/500\text{kW}$, $p = 1 - 10\text{bar}_{\text{abs}}$, $T = 40 - 95^\circ\text{C}$

(1) Versuchs-/Testsysteme

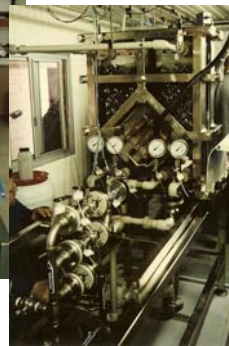


Original-Lieferant
HYDROTECHNIK

3 / 2kW



HT/DLR



HT/
DLR



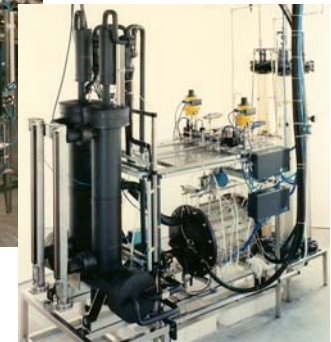
HS



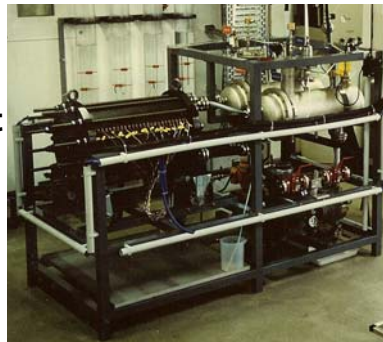
HS/DLR



MA



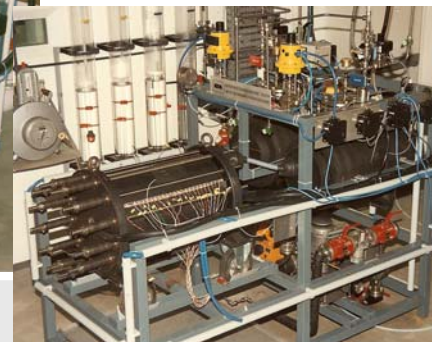
MA/DLR



FZJ



FZJ/DLR



FZJ/DLR



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

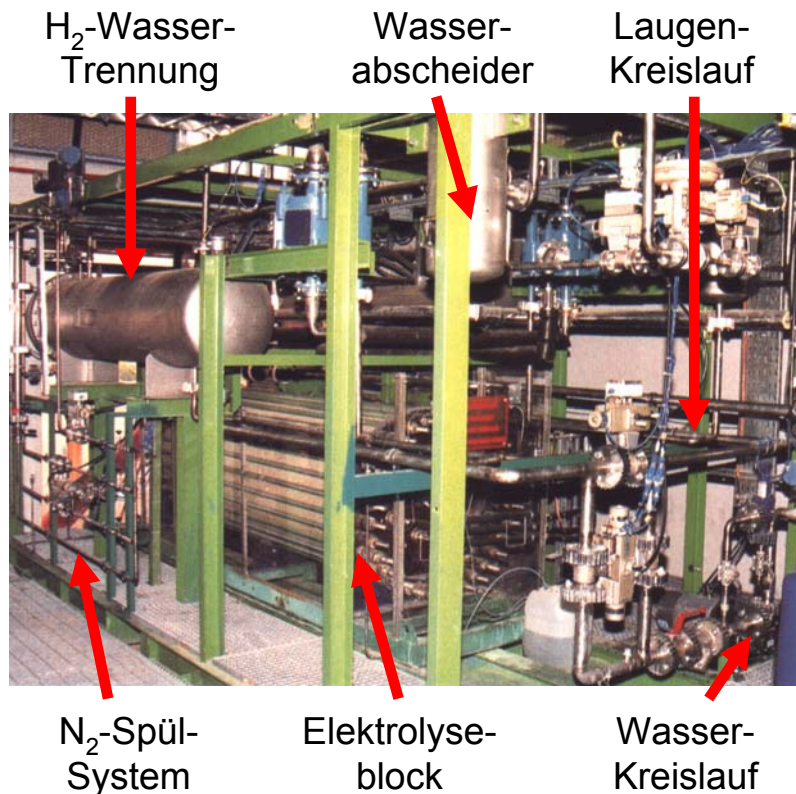
Dipl.-Ing. Andreas Brinner
Institut für Fahrzeugkonzepte

07.07.08

Elektrolyseanlagen des Projektes

$P = 2 - 350/500\text{kW}$, $p = 1 - 10\text{bar}_{\text{abs}}$, $T = 40 - 95^\circ\text{C}$

(2) Produktionsdemonstration



350/500 kW Druckelektrolyseanlage
TÜV-abgenommen, betriebsbereit



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft



5000cm²- Block V.2
nicht abgenommen

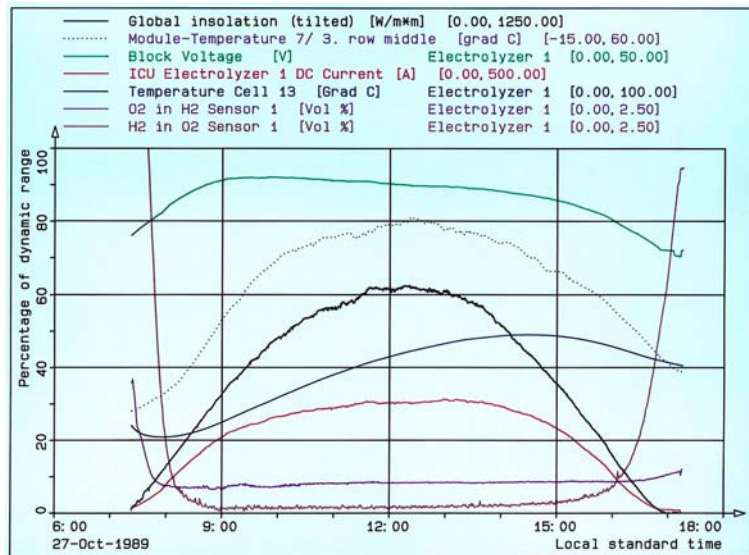


2500cm²- Block V.3
TÜV-abgenommen



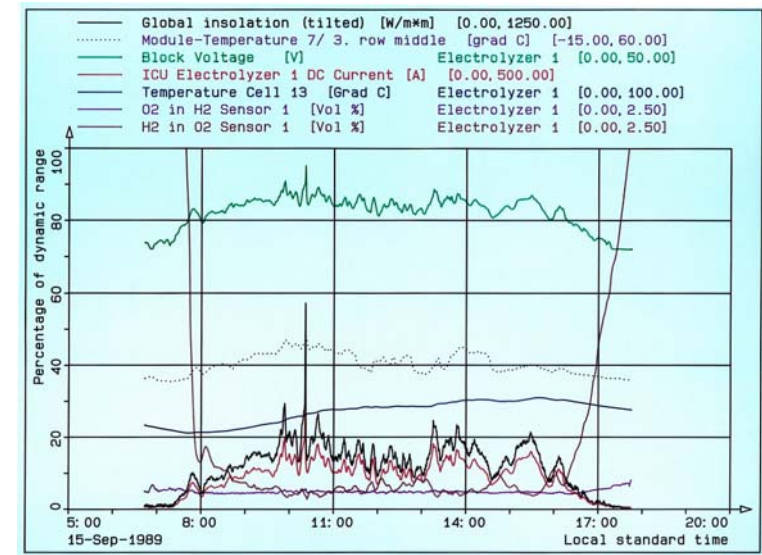


Auswertung des Solaren Langzeit-Elektrolysebetriebs optimal, normal dynamisch, minimal



27.10.89

Optimaler Betrieb

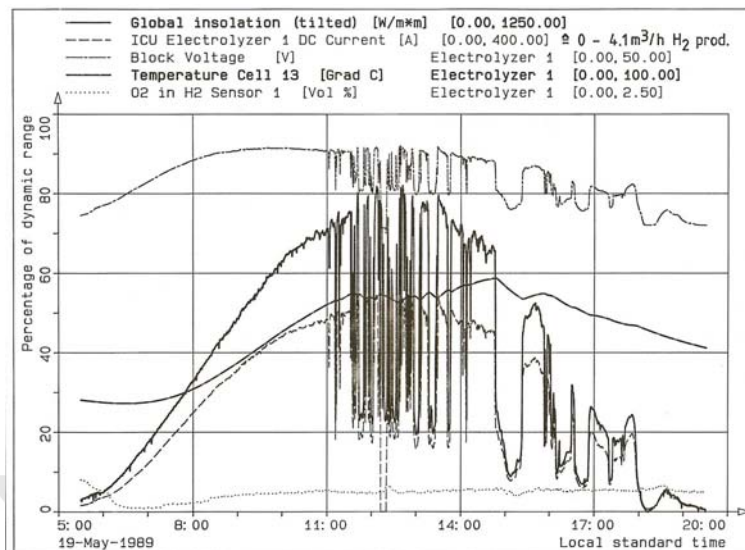


19.09.89

Minimalbetrieb

19.05.89

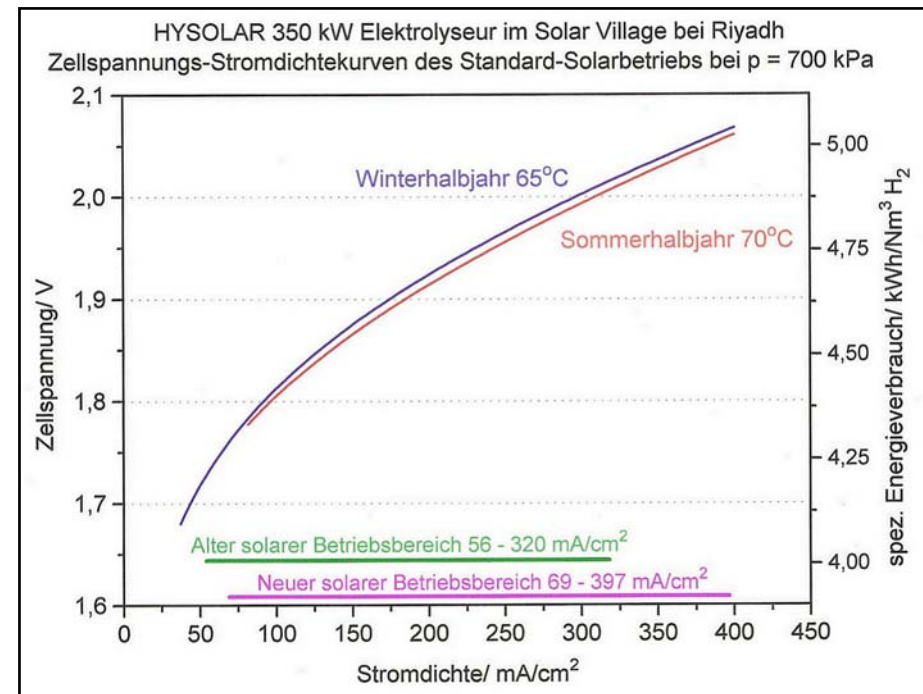
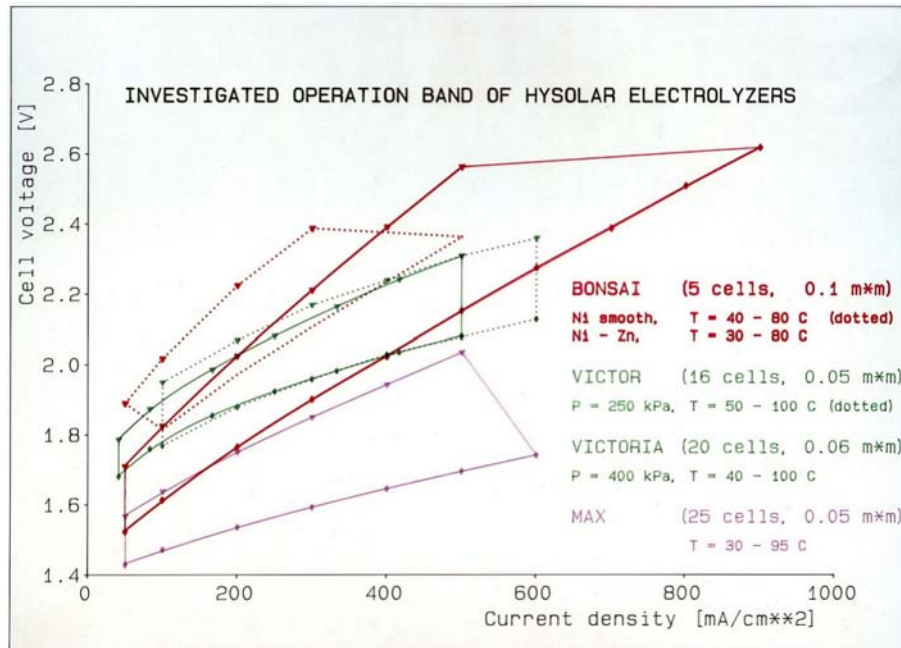
Dynamischer Betrieb



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

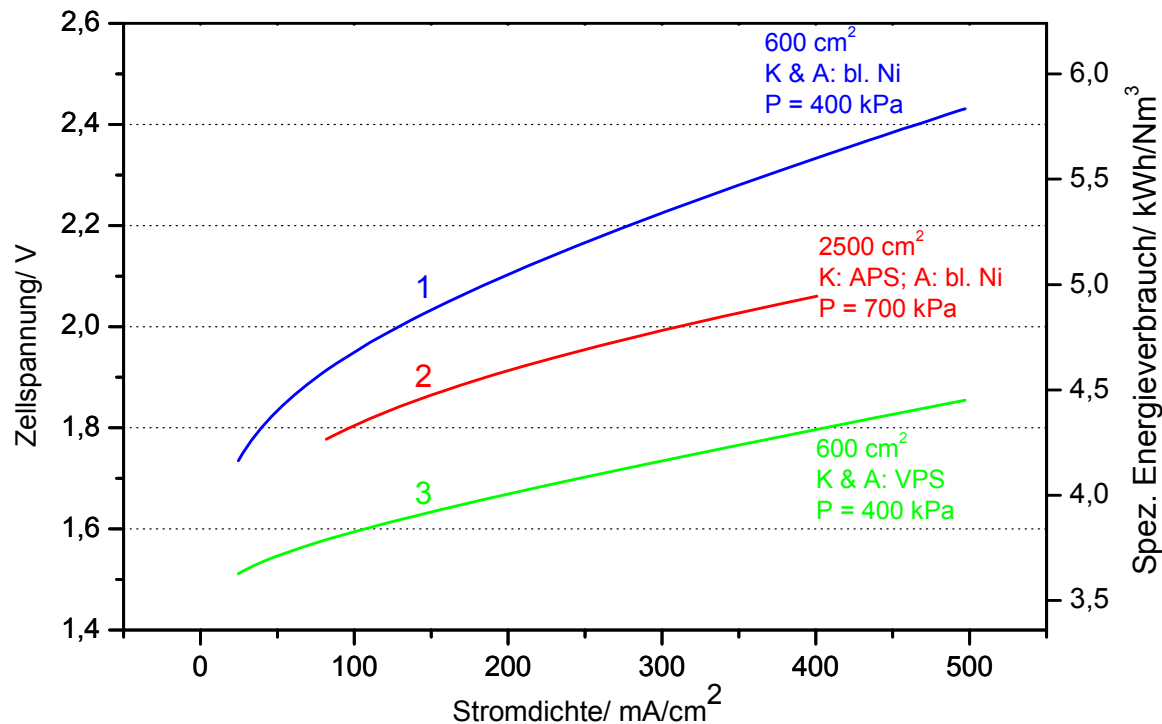
07.07.08

Reproduzierbarer Elektrolyse-Versuchsbetrieb



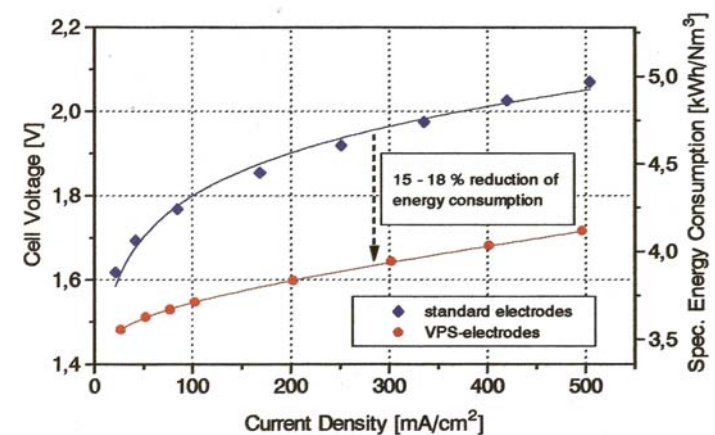
Minimierung des spezifischen Energieverbrauchs durch neue katalytisch aktive Elektrodenoberflächen

1 & 3: DLR-Technologieträger ; 2: 350 kW Elektrolyseur
Vergleich der Zellspannungen bei 70°C



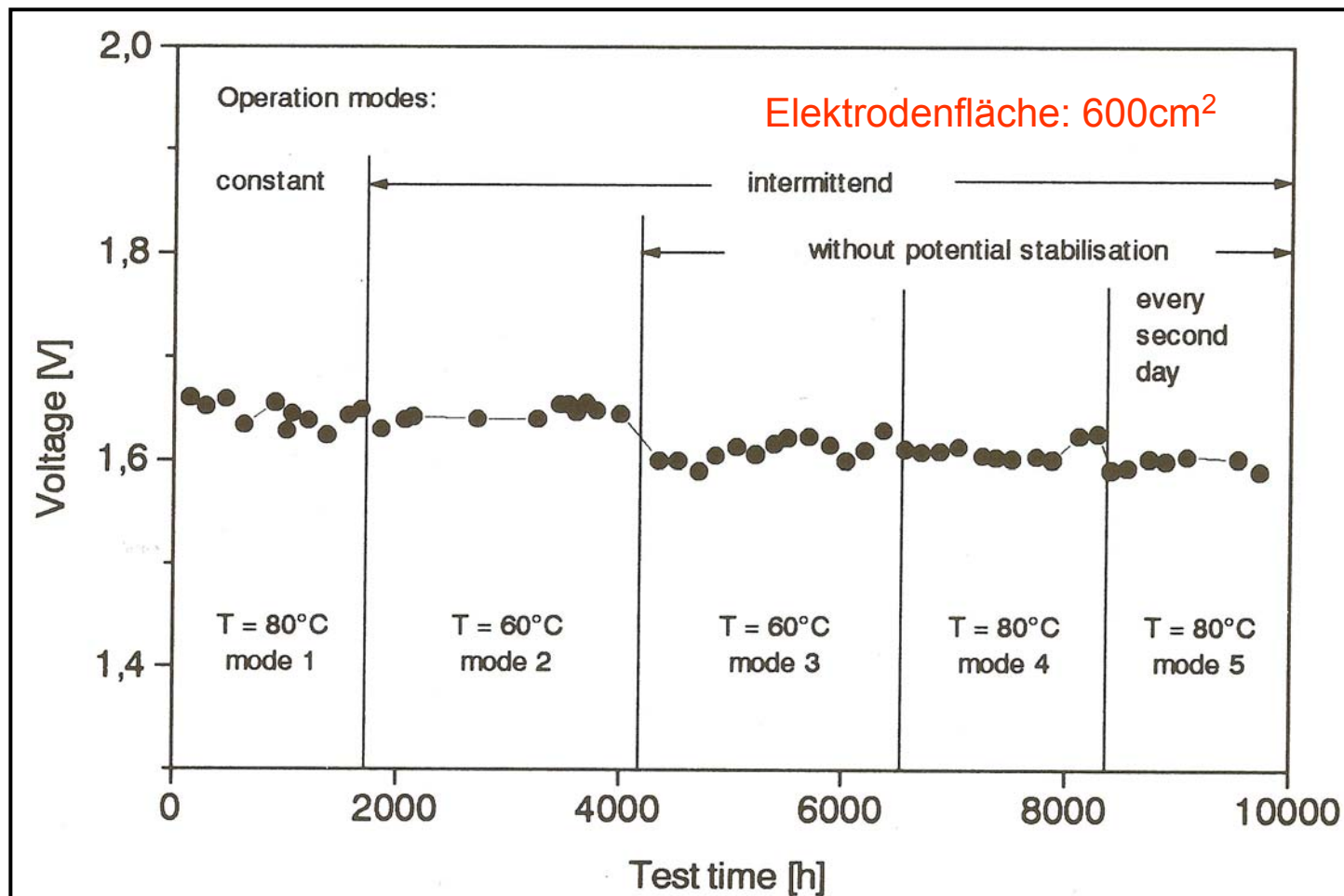
Intermittierend betreibbare Elektrolyseure Stuttgart/Riad

Durch die Verwendung aktivierter Elektroden (z.B. DLR VPS-Elektroden) kann der spezifische Energieverbrauch um 15 – 18% gesenkt werden.



Katalytische Aktivierung ist langzeit-stabil

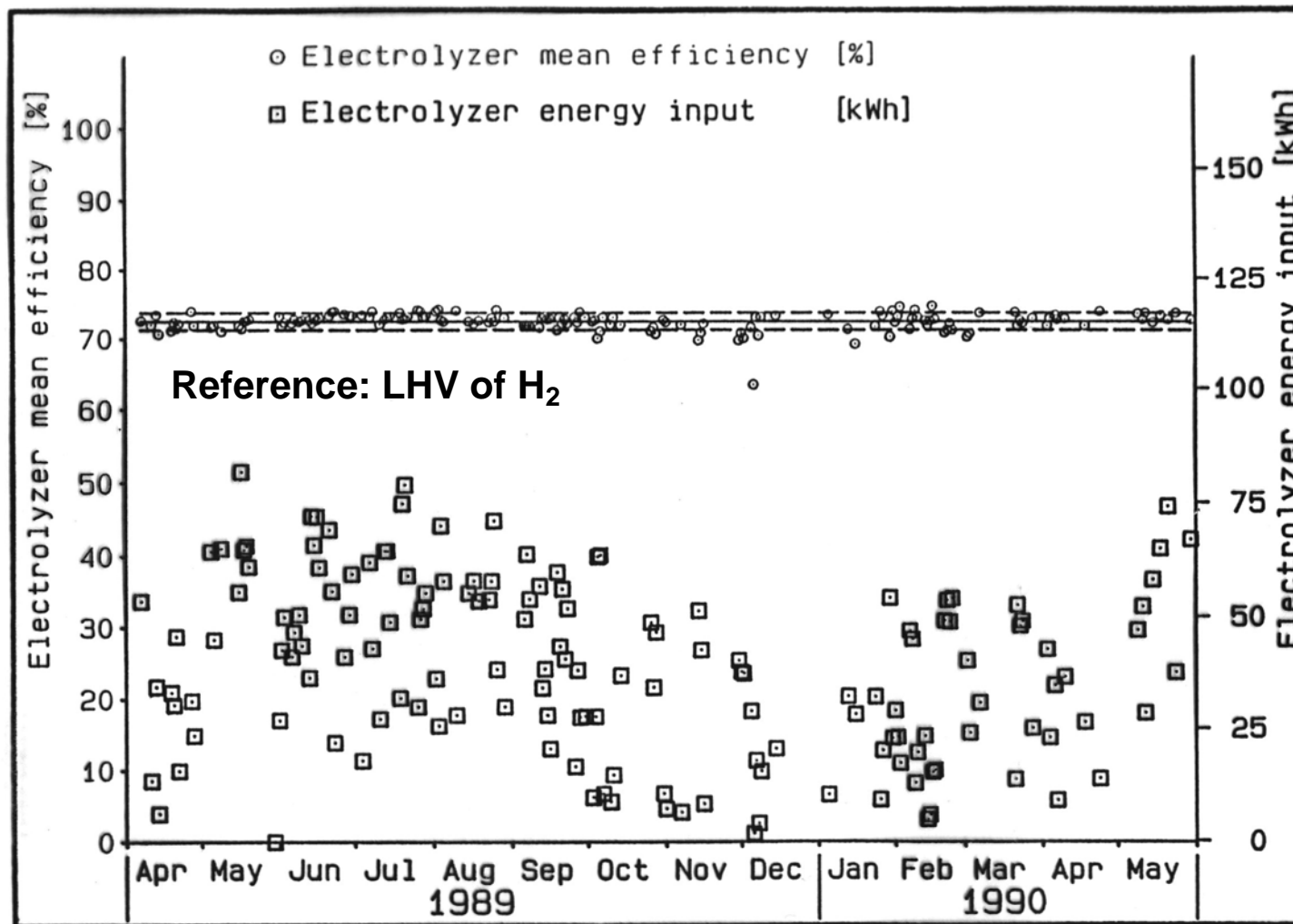
10 kW DLR-Elektrolyseur mit VPS-Elektroden



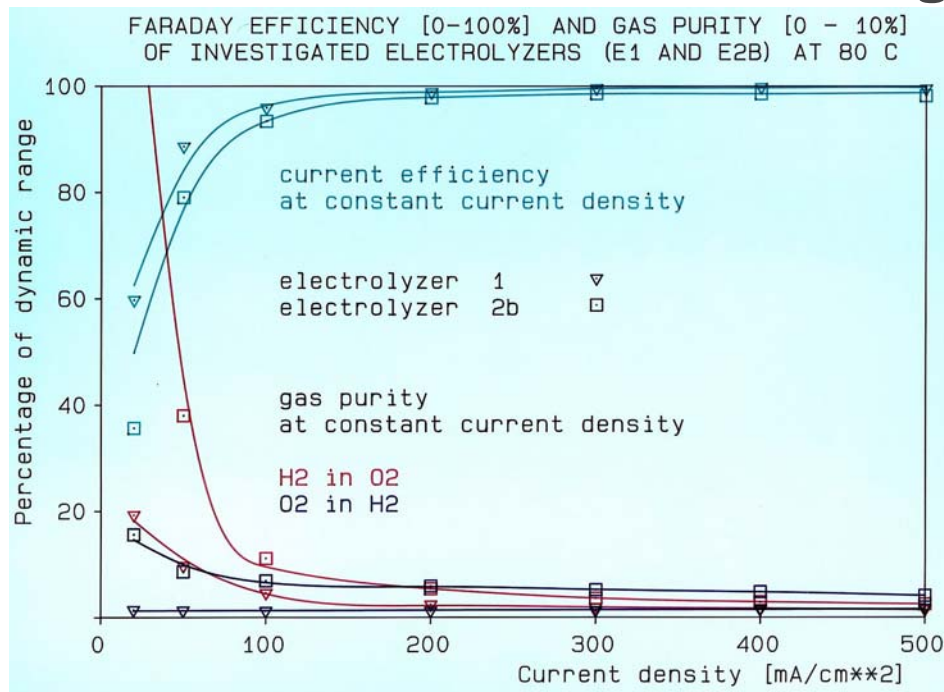
Testbedingungen: $i = 300\text{mA/cm}^2$, $T = 60/80^\circ\text{C}$, $p = 5\text{bar}_{\text{abs}}$



Elektrolyse-Wirkungsgrad und Energieangebot können unabhängig optimiert werden

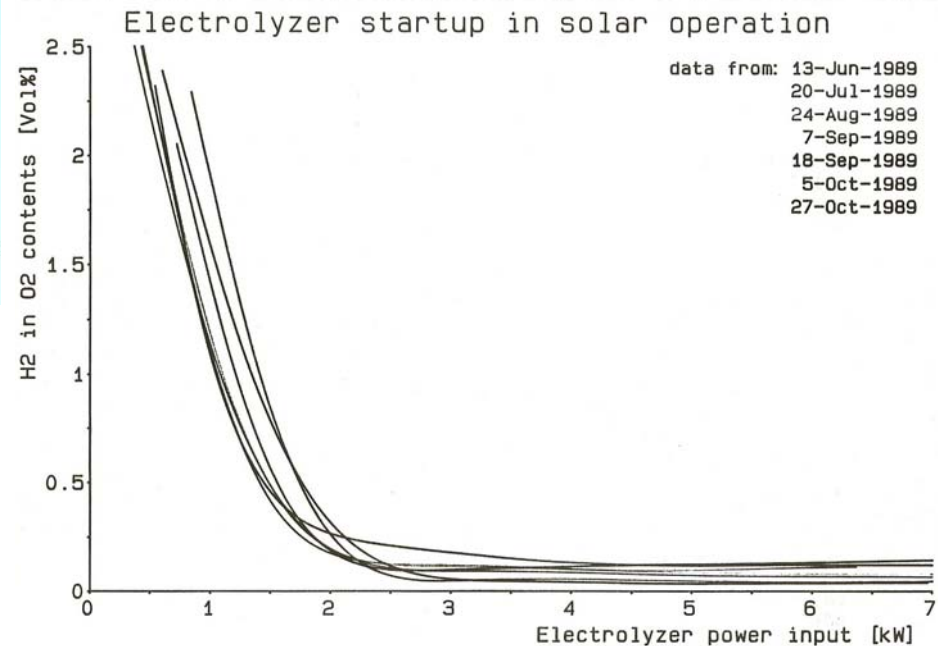


Gasproduktion ist sicher und effektiv mit unterschiedlichstem Energieangebot



Ab 5% der Nominalleistung
erhält man nutzbaren Wasserstoff

Der sichere Betriebsstart mit Leistung
< 7% P_N ist bei unterschiedlichsten
Startbedingungen reproduzierbar

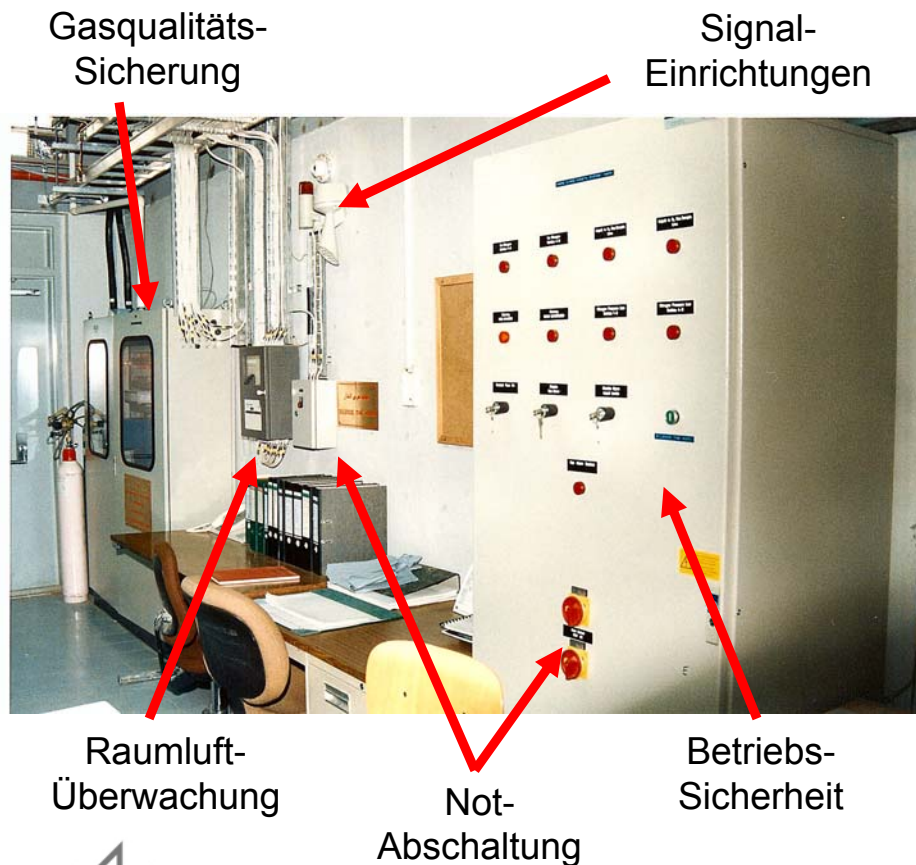


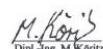


Elektrolysebetrieb ist nach dem aktuellen Stand der Technik sicher machbar und für den Betrieb zulassbar

Sicherheitstechnik ist für alle
Elektrolyseure standardisierbar

HYS 10 & HYS 350

Betriebserlaubnis zur Herstellung und
Abgabe von Solar-Wasserstoff an Dritte

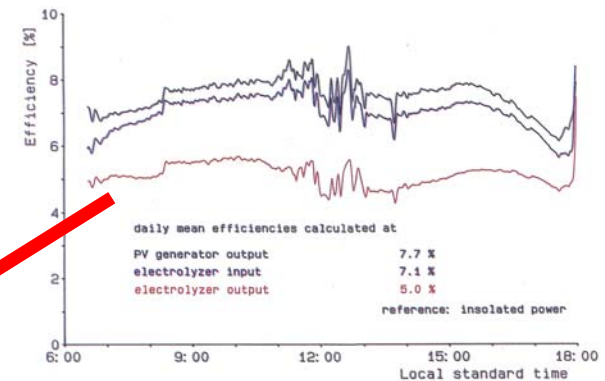
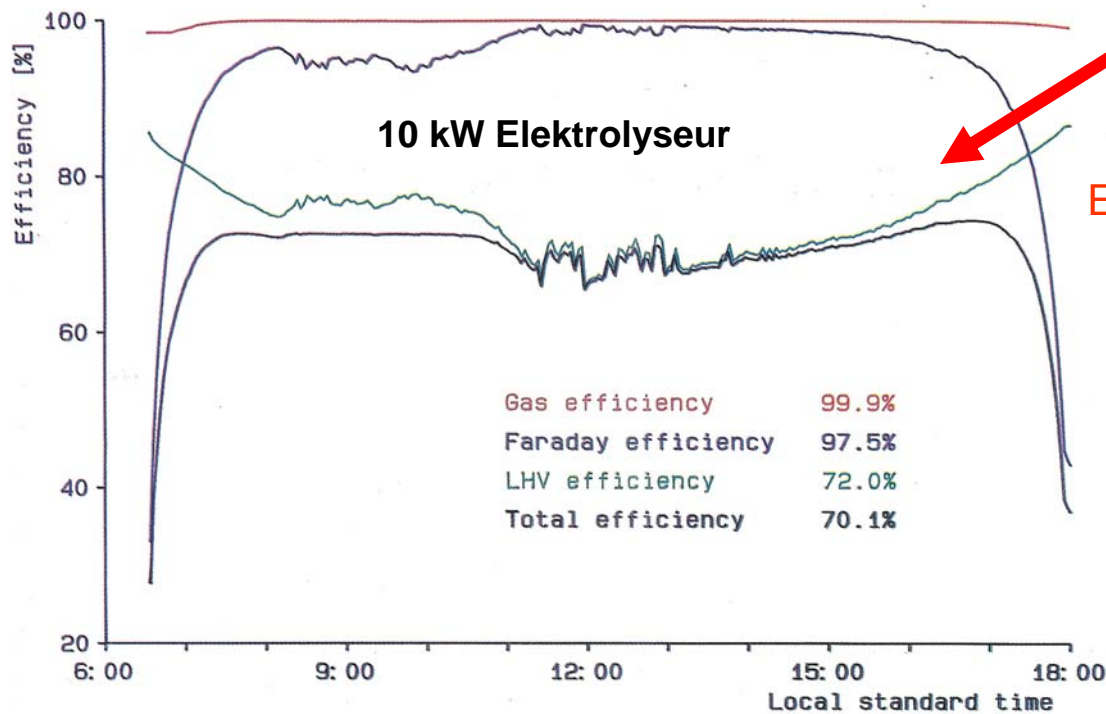


Provisional Acceptance Certificate HYSOLAR 350	
Operator:	King Abdulaziz City for Science and Technology (K.A.C.S.T.) Prince Abdullah bin Abdulaziz Street Riyadh 11442 / Kingdom of Saudi-Arabia
Site of plant:	Hysolar 350 in Solar Village Riyadh 11442 / K.S.A.
Engineering by:	German Aerospace Research Establishment Linder Höhe 5000 Cologne 90 / Germany
Process:	Solar-powered electrolysis on water producing and bottling hydrogen
Inspected by:	Dipl.-Ing. Michael Köritz / Dipl.-Ing. Peter Kardel TUV Südwestdeutschland e.V. Establishment Stuttgart Dpt. for steam and pressure technology / Dpt. for electro technology 70794 Filderstadt / Germany
Inspection-list:	<ul style="list-style-type: none">Preliminary examination of hydrogen storage vessel before reconstructionConstruction and pressure test of gas-demistors for hydrogen and oxygenConstruction and pressure test of gas separators for hydrogen and oxygenChemical analysis of hydrogen storage vessel material samplePressure test of pipings for electrolyte, oxygen, hydrogen and nitrogenMeasurements upon out-of-rounds of hydrogen storage vesselsDye penetrant check upon stress cracks of hydrogen storage vesselConstruction and pressure test of hydrogen storage vesselMeasurements upon out-of-rounds of gas separator for hydrogenInterpretation of x-ray films of pipe- and vessel-weldsConstruction test of pipingsInspection of safety facilities (mechanical aspects)Inspection of explosion-safe equipmentExamination of lightning protection and groundingExamination upon conformity of electrical equipment and installation to specificationsInspection of safety facilities (electrical aspects)
Place and date:	Solar Village, September 1st 1993 / Rabi'l 15th 1414
Signatures:	  Dipl.-Ing. M. Köritz Dipl.-Ing. Peter Kardel
	 Official Stamp

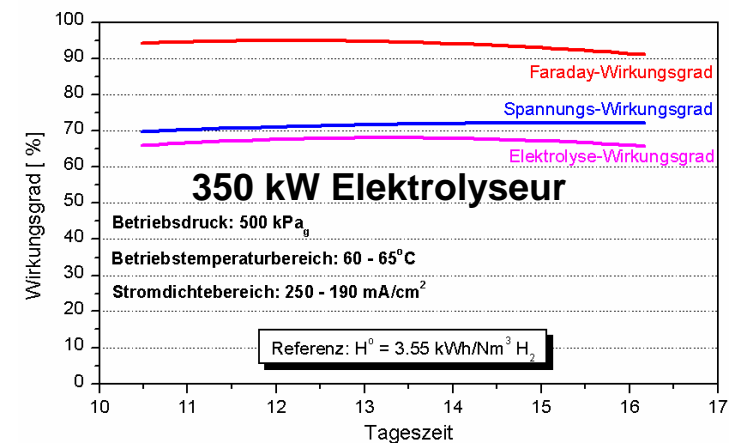
Solarer Elektrolysebetrieb ist effizient umsetzbar. Das gilt auch für den Elektrolysebetrieb mit anderen regenerativen Energiewandlern

Elektrolyse-Gesamtwirkungsgrad

70% für einen solaren Betriebstag mit VPS-E



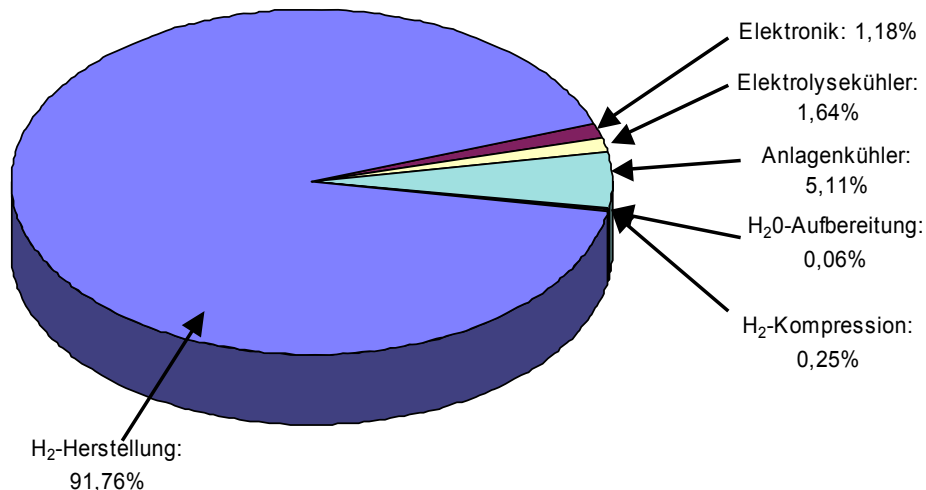
Elektrolyse-Gesamtwirkungsgrad 55% für einen solaren Betriebstag ohne VPS-E



Solarer Elektrolysebetrieb bei niedrigem Druck ist effizient und kostengünstig

Der elektrische Eigenverbrauch der 350 kW PV-Elektrolyseanlage während 22 Monaten Testbetrieb betrug **8,2%** inklusive H₂-Druckspeicherung

350 kW PV-Elektrolyseanlage
Energieverbrauch im Solarbetrieb
Datenbasis: September 1993 - Juni 1995



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Bei Berücksichtigung aller Bau- und Betriebskosten hätten die H₂-Kosten inkl. Lieferung nach Deutschland **67 Cent/kWh** betragen

Zinssatz [% p.a.]	6,0
Nutzungsdauer [Jahre]	20
Anlagenkapazität [kW]	350
Kosten der Anlage [€/kW]	9.306
Anlagekosten [€]	3.257.000
Kapitaldienst [€ p.a.]	283.960
Betriebskosten = Puffer [€ p.a.]	33.000
Summe der Anlage- und Betriebskosten [€/kW p.a.]	9.400
Summe der Anlage- und Betriebskosten [€ p.a.]	316.960

Ø Tagesleistung [h]	9
Betriebstage [p.a.]	360
Stromanteil abgegeben an Elektrolyse [%/100]	0,9176
Wirkungsgrad Elektrolyseur [η]	0,585
Produziertes H ₂ [kWh p.a.]	608.727

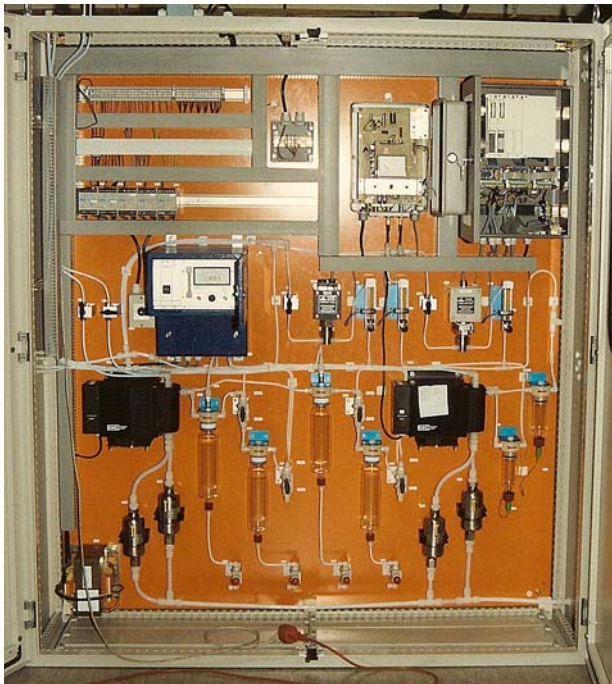
Kosten H ₂ -Produktion [€/kWh]	0,5207
---	--------

Verflüssigungskosten [€/kWh]	0,0350
Lange Distanz [€/kWh]	0,0300
Kurze Distanz [€/kWh]	0,0800
Summe der Kosten für Transport an Haustür [€/kWh]	0,1450

Summe der Kosten H ₂ an Haustür [€/kWh]	0,6657
--	--------

Technische Standards für Sicherheit und Produktgasqualität konnten gesetzt werden

Online-Produktgasanalyse
direkt an den Blockausgängen
durch Probenentnahme
aus dem 2-Phasen-Gemisch



Gas-Qualitätsstandard 5.0 mit

- Gaswäsche
- Katalytischer Rekombination
- Trocknung

im Batch-Betrieb erreichbar



Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.
in der Helmholtz-Gemeinschaft

Dipl.-Ing. Andreas Brinner
Institut für Fahrzeugkonzepte

07.07.08

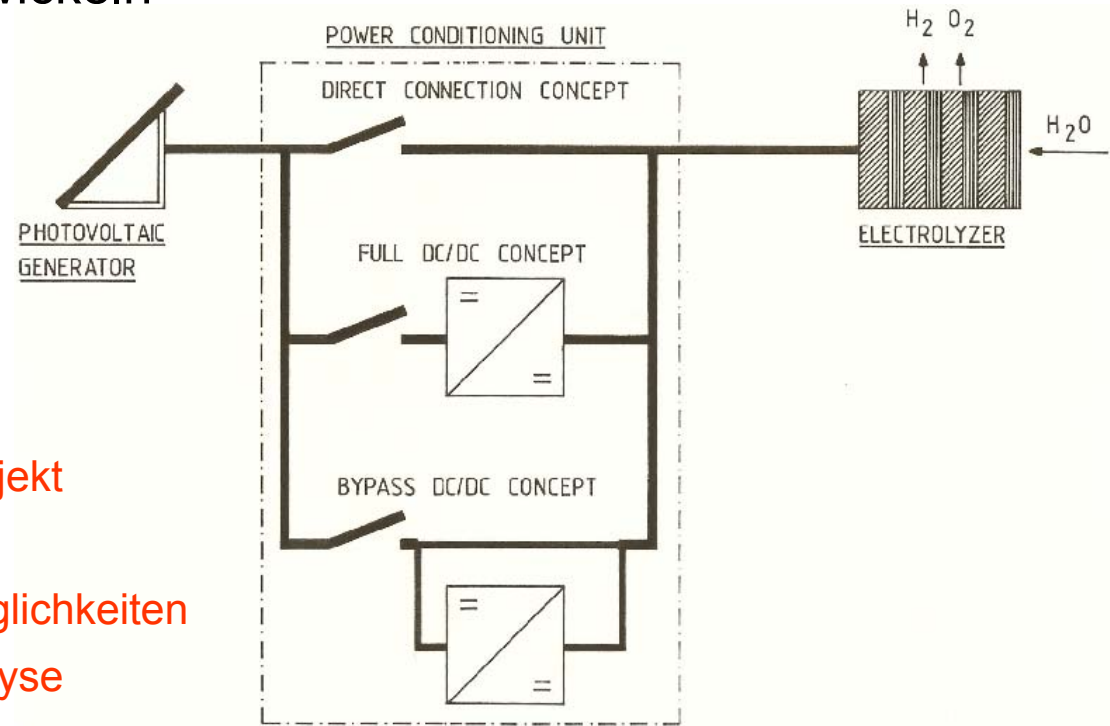


Vorschläge für F&E-Schwerpunkte

- ▶ **EFFIZIENZ** Verbesserte Materialien im Rahmen und Membranbereich
 - Betriebstemperaturerhöhung bis 150°C
 - Druckerhöhung bis 30bar,
 - Minimierung des ionischen Widerstandes
 - Erhöhung der Differenzdruckfestigkeit
- ▶ **KOSTEN** Vereinfachung der verfahrenstechnischen Systemperipherie
 - Einsatz von Kunststoffen
 - Reduktion der Komponentenanzahl
 - Funktionsintegration
- ▶ **EINSATZBEREICH** Produktgasqualitätssteigerung im dynamischen Betrieb
- ▶ **EINSATZBEREICH** Erhöhung der Toleranz gegenüber der Rohwasserqualität
 - Nutzung von Salzwasser, Brackwasser, stark belastetem Wasser
- ▶ **AUTONOMITÄT** Netzunabhängigkeit des Anlagenbetriebs
 - Anlagenbetrieb komplett aus dem Primärenergieangebot
- ▶ **BETRIEBSKOSTEN** Betriebsautomatisierung
- ▶ **LIEFERBARKEIT** Industrialisierung der Ergebnisse

Energiewandler-Kopplung

- ▶ Testsystemstandard entwickeln
- ▶ Kopplungsverhalten mit den verschiedenen Energiewandlern im Langzeitbetrieb untersuchen
- ▶ Auswertestandard entwickeln



Systemansatz im HYSOLAR-Projekt
Untersuchung und Vergleich
verschiedener Kopplungsmöglichkeiten
von Photovoltaik und Elektrolyse



Unterstützungswünsche / Fazit

- ▶ **Forschungsförderung** für
 - Effizienz
 - Kosten
 - Einsatzbereich
- ▶ **Demonstrationsprogramme** für
 - Energiewandler-Kopplung
- ▶ **Marktanreize** für
 - Autonomieität
 - Betriebskosten
 - Lieferbarkeit
 - Standards

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !